

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Энергетический

Направление подготовки (специальность): 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра: Электротехнических комплексов и материалов

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Проектирование системы управления электроприводом запорной арматуры</b>

УДК \_ 621.646-83-047.64.001.63

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5Г	Нгуен Дык Тхо		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭКМ	Федянин А.Л.	К.т.н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры МЕН	Кузьмина Н.Г.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Король И.С.	К.х.н., доцент		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭКМ	Гарганеев А.Г.	Д.т.н., профессор		

Томск – 2017 г.

**Планируемые результаты обучения по ООП 13.04.02 Электроэнергетика  
и электротехника (магистратура)**

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения</b>
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности.
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	Использовать представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии науки, готовностью вести работу с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения</b>
	условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научно-техническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Энергетический

Направление подготовки (специальность): 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра: Электротехнических комплексов и материалов

УТВЕРЖДАЮ:

зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ А.Г. Гарганеев  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Магистерской диссертации</b>
---------------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
<b>5ГМ5Г</b>	<b>Нгуен Дык Тхо</b>

Тема работы:

<b>Проектирование системы управления электроприводом запорной арматуры</b>	
Утверждена приказом директора ЭНИН	Приказ № <u>10959/с</u> от 28.12.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<p>Система управления электроприводом запорной арматуры.</p> <p>Номинальный внутренний диаметр трубопровода: <math>D = 0,8</math> м.</p> <p>Расчетная длина трубопровода: <math>x = 300</math> м.</p> <p>Длина трубопровода: <math>l_2 = 3000</math> м.</p> <p>Номинальное входное давление: <math>P_1 = 6</math> МПа.</p> <p>Номинальное выходное давление: <math>P_2 = 3</math> МПа.</p> <p>Плотность нефти: <math>\rho = 827</math> кг/м<sup>3</sup>.</p> <p>Эквивалентной коэффициент шероховатости: <math>k_s = 0,15</math> мм.</p> <p>Модуль объемной упругости нефти: <math>K = 1,3 \cdot 10^9</math> Па.</p> <p>Кинематическая вязкость нефти: <math>\nu = 5 \cdot 10^{-6}</math> м<sup>2</sup>/с.</p>
---------------------------------	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	2.	Запорная трубопроводная арматура
	2.1.	Трубопроводный кран
	2.2.	Трубопроводный запорный клапан
	2.3.	Трубопроводная задвижка
	2.4.	Трубопроводный дисковый затвор
	2.5.	Выводы
	3.	Управление запорной арматуры электроприводом
	3.1.	Электропривод AUMA
	3.2.	Электропривод ГЗ
	3.3.	Электропривод ГУСАР
	3.4.	Выводы
	4.	Автоматическая система
	4.1.	Контроллер
	4.2.	Система SCADA
	4.3.	ПИД-контроллер
	4.3.1.	И-регулятор
	4.3.2.	ПИ-регулятор
	4.3.3.	ПИД-регулятор
	4.4.	Выводы
	5.	Математическое моделирование трубопроводной системы
	5.1.	Математические модели
	5.2.	Алгоритмическая модель
	5.3.	Проведение эксперимента
	5.4.	Компьютерная модель
	5.5.	Выводы
	6.	Реализация системы управления электроприводом запорной арматуры
	6.1.	Функциональная схема управления
	6.2.	Автоматическая система
	6.3.	Имитационная модель в системе SCADA
	6.4.	Выводы
	7.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение
	8.	Социальная ответственность

### Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Кузьмина Н. Г., старший преподаватель кафедры менеджмента
Социальная ответственность	Король И.С., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности
Иностранный язык	Соколова Э.Я., старший преподаватель кафедра ИЯЭИ
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

### Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Федянин А.Л.	к.т.н, доцент		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ5Г	Нгуен Дык Тхо		

## **Реферат**

Диссертация на тему «Проектирование системы управления электроприводом запорной арматуры» содержит 108 страниц, 36 рисунков, 7 таблиц, 30 источников и 2 приложения.

Данная работа представляет собой 7 разделов:

- 1) запорная трубопроводная арматура;
- 2) управление запорной арматуры электроприводом;
- 3) автоматическая система;
- 4) математическое моделирование трубопроводной системы;
- 5) реализация системы управления электроприводом запорной арматуры;
- 6) часть финансового менеджмента;
- 7) часть социальной ответственности.

Ключевые слова: система управления, электропривод, запорная арматура, автоматическая система, транспортировка, трубопровод, давление, регулятор, программируемый логический контроллер.

Объект исследования – система управления электроприводом запорной арматуры.

Цель работы – разработка подходов к проектированию системы управления электроприводом запорной арматуры, предназначенной для применения в трубопроводной системе.

Спроектированная система отвечает выбору и способностью соединения связанных элементов системы. В работе представлены экспериментальный расчет с помощью разных методов и эксперимент при разных регуляторах, а также сравнение результатов данных опытов.

## **Определение, обозначения, сокращения и нормативные ссылки**

В данной работе использованы следующие обозначения и сокращения:

- ПЛК – программируемый логический контроллер.
- ПК – персональный компьютер.
- ЦПУ – центральное процессорное устройство.
- ПЗУ – постоянное запоминающее устройство.
- ОЗУ – оперативное запоминающее устройство.
- ПИД-контроллер – Пропорционально-Интегрально-Дифференциальный контроллер.
- ОУ – операционный усилитель.
- АРМ – автоматическое рабочее место.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 24856-2014 «Арматура трубопроводная. Термины и определения».
- ISO 5210 / ISO 5211-2001. Присоединительные размеры фланцев и сочленений (присоединений) для установки промышленной арматуры.
- ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
- ГОСТ Р 51858-2002. Нефть. Общие технические условия.
- СП 52.13330.2011 Свод правил. Естественное и искусственное освещение.
- ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности.
- ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования.

- СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Санитарные нормы .Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
- ГОСТ 20010-93 Перчатки резиновые технические. Технические условия.
- ГОСТ 12.4.051-78 ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов слуха. Общие технические условия.
- ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
- ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
- ГОСТ 12.1.010-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Взрывобезопасность. Общие требования.
- ГОСТ Р 51017-97 Техника пожарная. Огнетушители передвижные. Общие технические требования. Методы испытаний.
- ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
- ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.
- СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- ГОСТ 17.1.3.13-86 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения.
- Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. N 68-ФЗ О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.



- ГОСТ Р 22.0.01-94 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения.
- СНиП 2.05.06-85\* Магистральные трубопроводы.
- ГОСТ 30852.18-2002 (МЭК 60079-19:1993) Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 19. Ремонт и проверка электрооборудования, используемого во взрывоопасных газовых средах (кроме подземных выработок или применений, связанных с переработкой и производством взрывчатых веществ).
- СП 155.13130.2014 Свод правил склады нефти и нефтепродуктов требования пожарной безопасности.
- Статья 92. Сокращенная продолжительность рабочего времени.
- Статья 94. Продолжительность ежедневной работы (смены).
- Статья 96. Работа в ночное время.
- ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
- ГОСТ 21752-76 Система "Человек-машина". Маховики управления и штурвалы. Общие эргономические требования.
- ГОСТ 21958-76 Система "человек-машина". Зал и кабины операторов. Взаимное расположение рабочих мест. Общие эргономические требования.
- ГОСТ Р 50923-96 Дисплей. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
- ГОСТ EN 894-1-2012 Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 1. Общие руководящие принципы при взаимодействии оператора с индикаторами и органами управления.

- ГОСТ EN 894-3-2012 Безопасность машин. Эргономические требования к оформлению индикаторов и органов управления. Часть 3. Органы управления.

## Оглавление

1. Введение .....	13
2. Запорная трубопроводная арматура .....	16
2.1. Трубопроводный кран .....	17
2.2. Трубопроводный запорный клапан .....	18
2.3. Трубопроводная задвижка .....	18
2.4. Трубопроводный дисковый затвор .....	20
2.5. Выводы .....	20
3. Управление запорной арматуры электроприводом .....	21
3.1. Электропривод AUMA.....	24
3.2. Электропривод ГЗ .....	26
3.3. Электропривод ГУСАР .....	28
3.4. Выводы .....	31
4. Автоматическая система .....	32
4.1. Контроллер .....	33
4.2. Система SCADA .....	35
4.3. ПИД-контроллер .....	36
4.3.1. И-регулятор .....	38
4.3.2. ПИ-регулятор .....	38
4.3.3. ПИД-регулятор .....	39
4.4. Выводы .....	40
5. Математическое моделирование трубопроводной системы .....	40
5.1. Математические модели .....	40
5.2. Алгоритмическая модель .....	50
5.3. Проведение эксперимента .....	52
5.4. Компьютерная модель .....	59
5.5. Выводы .....	66
6. Реализация системы управления электроприводом запорной арматуры .....	67
6.1. Функциональная схема управления .....	67

6.2. Автоматическая система .....	69
6.3. Имитационная модель в системе SCADA .....	73
6.4. Выводы .....	76
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	78
7.1. Организация работ технического проекта .....	78
7.2. Составление сметы затрат на проектирование .....	82
7.2.1. Материальные затраты .....	82
7.2.2. Затрат на амортизацию компьютерной техники .....	82
7.2.3. Затраты на заработную плату .....	83
7.2.4. Отчисления во внебюджетные фонды .....	84
7.2.5. Прочие затраты .....	84
7.2.6. Накладные расходы .....	84
7.3. Смета затрат на оборудование и монтажную работу .....	86
8. Социальная ответственность .....	90
8.1. Анализ опасных и вредных факторов .....	91
8.2. Экологическая безопасность .....	95
8.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	97
8.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	99
9. Заключение .....	102
10. Список используемых источников .....	104
11. Приложение А. Компьютерное моделирование .....	107
12. Приложение Б.....	108
12.1. Introduction .....	109
12.2. Mathematical modeling of the pipeline system for oil and petroleum product transportation .....	112
12.2.1. Mathematical models .....	112
12.2.2. Experiment .....	119
12.3. Conclusion .....	124
12.4. References .....	125

## 1. Введение

**Актуальность темы.** Транспортировка нефти является наиболее важной актуальной задачей нефтедобывающих компаний в мировой нефтепромышленности. Согласно статистическим данным, потребление нефти занимает большую часть всего мирового потребления энергии, что делает данный вид сырья одним из самых востребованных на рынке энергоресурсов. Россия является одной из самых крупных стран по количеству добычи и экспорта нефти и нефтепродуктов, поскольку объем экспортируемой нефти из России оказывается постоянно выше общемировых показателей. Данная задача является очень важной в связи с тем, что большинство нефтяных месторождений находится на очень удаленном расстоянии от места добычи до мест переработки и потребления. При транспортировке нефти и нефтепродуктов, из-за различных причин (изменение температуры, изменение давления потока нефти, старение оборудования и т.д.), иногда возникают крупные аварии. Большинство аварий с разливом нефти приводит к необратимым последствиям для окружающей среды. В результате чего встает вопрос о выборе способа транспортировки нефти с учетом безопасности.

Применение магистрального трубопровода для транспортировки нефти и нефтепродуктов является одним из распространенных способов, обладая при этом рядом существенных преимуществ по сравнению с другими видами транспорта, а именно:

- незначительные потери нефтей и нефтепродуктов;
- возможность транспортировки на удаленном расстоянии (до тысячи км);
- возможность транспортировки нескольких видов нефти и нефтепродуктов по одному трубопроводу;
- применение узлов спуска скребка и линейных колодцев;
- наиболее низкая себестоимость транспортировки.

В связи с этим, данный вид оказывается самым выгодным и безопасным способом транспортировки нефти и нефтепродуктов.

В России существует мощная и разветвленная трубопроводная сеть по транспортировке нефтепродуктов. Протяженность данной сети составляет 75 тыс. км. в 2012 году (по данным Росстата). Развитием этой сети занимаются такие компании как «АК«Транснефть»», «Газпром», «НИИ ТНН», «Гипротрубопровод» и др. Система трубопровода спроектирована таким

образом, чтобы обеспечить транспортировку нефти с широким диапазоном мощности, а также транспортировку горючих и взрывоопасных нефтепродуктов с различными требованиями по эксплуатации и обслуживанию. Система магистрального трубопроводного является одной из важнейших составляющих энергетических систем, обеспечивающих стабильность экономического роста в России. В связи с этим, проектирование системы управления для транспортировки нефти и нефтепродуктов стало актуальной в промышленной и экономической сфере.

Министерством регионального развития Российской Федерацией в 2012 году утверждены строительные нормы и правила «Магистральные трубопровод» (СНиП 2.05.06-85\*), которые перечисляют требование к материалам, конструкциям, прокладке и защите разных видов трубопровода. Согласно этому документу в систему входят основные элементы, такие как:

- трубопровод;
- арматура;
- электропривод;
- линия связи;
- линия электропередачи;
- средство телемеханики трубопровода.

Электропривод является одним из самых распространенных и современных способов управления запорной арматурой. Опыт использования электроприводов для управления запорно-регулирующей арматурой показал, что на сегодняшний день в России эффективно применяется электропривод в эксплуатации системы транспортировки нефти и нефтепродуктов.

Разработка автоматической системы управления электроприводом запорной арматуры, проектируемой в соответствии с требованиями по снижению первоначальных материальных затрат и повышения степени автоматизации, оказывается сложной задачей для российских компаний в связи с расстоянием и разными климатическими исполнениями при транспортировке нефти. Поэтому решение вопросов с разработкой новых подходов к проектированию системы управления электроприводом запорной арматуры, предназначенной для обеспечения стабильности и безопасности транспортировки нефти, является актуальным.

**Объектом исследования** является система управления электроприводом запорной арматуры.

**Предметом исследования** является способ управления системой транспортировки жидких и газовых сред с помощью запорной арматуры.

**Цель работы** является разработкой подходов к проектированию системы управления электроприводом запорной арматуры, предназначенной для применения в трубопроводной системе.

**Методы исследований.** При проведении проектирования использовались аналитические, графоаналитические и гидравлические методы. Для построения математических моделей основных объектов использовались аналитические, графические и гидравлический метод, выполняемые с помощью компьютерной программы Mathcad. Для решения различных задач, связанных с применением математических моделей для описания процессов, использовались графоаналитические и графические методы, выполняемые с помощью компьютерной программы Matlab, а также программы TRACE MODE, входящей в систему SCADA.

#### **Научная новизна.**

1. Разработана компьютерная модель проектирования системы управления электроприводом запорной арматуры, предназначенная для проведения экспериментов и получения характеристик транспортируемой среды.
2. Разработан алгоритм для расчета характеристик и определения течения среды при проектировании системы управления.
3. Разработана компьютерная модель для имитации системы управления и автоматической системы, позволяющая отображать характеристики и состояния системы при транспортировке рабочей среды.

#### **Практическая ценность.**

1. Разработана компьютерная модель в программе Matlab для проектирования системы управления электроприводом запорной арматуры при транспортировке нефти.
2. Разработана имитационная модель в программе TRACE MODE для отображения характеристики и состояния системы на экране ПК, а также для выполнения дистанционного управления системы.

**Апробация работы.** Результаты работы докладывались на IV российской молодежной научной школы-конференции «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи».

## **2. Запорная трубопроводная арматура**

К трубопроводной арматурой относятся устройства, предназначенные для управления потоками нефти и нефтепродуктов, транспортируемых в трубопроводных системах.

Запорная арматура является одним из основных видов трубопроводной арматуры, которая служит для перекрытия потоков нефти и нефтепродуктов. По данным запорная арматура составляет около 80% всех применяемых трубопроводных арматур.

По ГОСТ 24856-2014 «Арматура трубопроводная. Термины и определения» запорная арматура подразделяется на следующие классы:

Кран – тип арматуры, у которой запирающий или регулирующий элемент, который имеет форму тела вращения или его части, поворачивается вокруг собственно оси, произвольно расположенной по отношению к направлению потока нефти и нефтепродуктов.

Клапан – тип арматуры, у которой запирающий или регулирующий элемент перемещается параллельно оси потока нефти и нефтепродуктов.

Задвижка – тип арматуры, у которой запирающий или регулирующий элемент перемещается перпендикулярно оси потока нефти и нефтепродуктов.

Дисковый затвор – тип арматуры, у которой запирающий или регулирующий элемент, который имеет форму диска, поворачивается вокруг оси, перпендикулярной или расположенной под углом к направлению потока нефти и нефтепродуктов.

Запорная арматура обеспечивает надежное и полное перекрытие проходного сечения. Принципиально она обеспечивает всего два состояния: открытого или закрытого состояния. К запорной арматуре относятся пробно-спускные и контрольно-спускные трубопроводные арматуры, предназначенные для кратковременного открытия с целью проверки наличия или параметров нефти и нефтепродуктов при транспортировке.

При транспортировке нефти и нефтепродуктов часто применяются способы как ручное управление и управление с помощи электропривода.

Привод можно настроить в местном режиме, не обеспечить возможность прямого подключения к распределенной системе управления. Система



управления обменивается с приводом только командами управления и сигналами обратной связи.

## **2.1. Трубопроводный кран**

Краны представляют собой запорные, регулирующие или распределительные устройства и предназначены для полнопроходного и неполнопроходного открытия.

Управляется кран вручную или с помощью механических приводов, таких как электрического, пневматического или гидравлического. Основными частями крана являются корпус и затвор. Корпус изготавливается из металлов и их сплавов или из пластика. Конструкция затвора характеризует различность между кранами.

По конструкции краны разделяются на следующие виды: шаровой, конусной и цилиндрический и обладают рядом преимуществ:

- простоту и надежность конструкции;
- малое время и незначительные крутящего усилия;
- гидравлические потери в разы меньше, чем в задвижках и клапанах;
- малый первоначальный затрат;
- малый затрат при эксплуатации и обслуживании.

Помимо преимуществ, краны имеют ряд следующих ограничений:

- температура транспортируемых сред не более 20 градусов Цельсия;
- при высоком давлении и больших диаметрах необходимо применить специальные решения для облегчения управления;
- применение конусного и цилиндрического крана при условии: давление меньше 2 МПа и диаметр трубопровода до 200 мм.

Главные различия в конструкции неполноповоротного и полноповоротного крана заключается в проектировании внутреннего диаметра отверстия. Диаметр прохода крана может быть меньше или равно диаметру трубопровода, к которому присоединяется кран.

При транспортировке нефти и нефтепродуктов предлагается использовать проходной или угловой кран, то есть направление потока либо не меняется, либо меняется на 90 градусов относительно входному потоку.

Самым современным и прогрессивным типом является шаровой кран, который нашел широкое применение в процессе транспортировки нефти и

нефтепродуктов при небольших и малых диаметрах трубопровода. Это трубопровод может быть установлен в цехах переработки нефти и нефтепродуктов.

## **2.2. Трубопроводный запорный клапан**

Клапаном называется запорная арматура, предназначена для частичного или полного перекрытия потока нефти и нефтепродуктов. По способам управления клапан применяются следующие типы: управление с передающим крутящий момент и поступательное усилие. Крутящий момент создается ручным способом или электроприводом, а поступательное усилие создается гидравлическим, пневматическим или электромагнитным приводом. При транспортировке нефти и нефтепродуктов распространено используется клапан с ручным управлением или с электроприводом.

При применении клапана вычислили ряд достоинств:

- давление транспортируемой среды до 25 МПа;
- температура транспортируемой среды от -20 до +60 градусов Цельсия;
- сравнительно не высокий капитальный затрат при эксплуатации;
- ход движения затвора малый (не более 25% номинального диаметра при полным открытием).

К недостатками клапанов можно отнести:

- ограничение пределов применения по диаметру в связи с существенным возрастанием усилий для управления;
- относительно высокая потеря энергии при перекрытии;
- относительно сложная конструкция по сравнению с конструкцией крана.

С целью уменьшения потери при транспортировке нефти и нефтепродуктов в трубопроводе по одном направлению от одного входа на один выход соответственно применяется односторонний клапан. Данный клапан имеет не сколько преимуществ по сравнению с другими видами клапанов, таких как небольшая масса подвижных частей и бесшумность работы.

## **2.3. Трубопроводная задвижка**

Задвижка является одним из самых распространенных типов запорной арматуры. Задвижка часто соединяется с трубопроводом, используется практически во всех системах транспортировки нефти и нефтепродуктов. По

оценке специалистов, в настоящее время общее число задвижек, применяемых только в компании «АК Транснефть» превышает 26 тыс. штук [1].

По своей конструкции задвижки различаются на три типа, такие как:

- параллельные;
- однодисковые;
- параллельные двухдисковые;
- клиновые.

Однодисковые задвижки обладают жёсткой конструкцией затвора и применяют в тех случаях, когда от запорной арматуры не требуется достижения высокой герметичности. В России однодисковые задвижки получили наибольшее распространение на линейной части магистральных нефтепроводов.

Задвижки двухдисковой конструкции позволяют получить хорошее уплотнение затвора в закрытом положении. Данный тип задвижек устанавливается в основном в местах требующих, прежде всего, надёжной герметизации.

У клиновых задвижек, конструкция затвора имеет вид плоского. В сравнении с параллельными дисковыми задвижками клиновые для достижения герметичности требуют при управлении затвором приложения меньшего усилия со стороны приводного устройства. Данная особенность позволяет уменьшить мощности приводных устройств.

Широкое распространение задвижек объясняется рядом достоинств этих устройств, таких как:

- давление транспортируемой среды до 25 МПа;
- температура транспортируемой среды от -25 до +60 градусов Цельсия;
- диаметр присоединяемых трубопроводов от 15 до 2000 мм;
- возможность применения при высокоскоростном движении среды.

К недостаткам задвижек можно отнести:

- возникновение вибрации при использовании задвижек для частичного перекрывания;
- относительно сложная конструкция;
- относительно большой затрат при обслуживании;

- крутящий момент для управления затвора большой по сравнению с моментом у крана и клапана.

Эксплуатационный режим запорной арматуры определяется степенью перекрытия транспортируемого по трубопроводу потока среды. При этом для задвижки приняты только два положения затвора: затвор не препятствует прохождению среды (нормально открытый затвор) и затвор препятствует прохождению среды (нормально закрытый затвор).

## **2.4. Трубопроводный дисковый затвор**

Дисковый затвор является часто применяется на трубопроводе большого диаметра при небольших давлениях потока рабочей среды. Затвор эффективно используется в нефтехимической отрасли. Дисковый затвор управляется вручную (при помощи ручного управления с редуктором), а также электро, гидро или пневмо привод.

Достоинствами при использовании дискового затвора являются:

- удобство использования благодаря небольшим размерам изделий;
- простота конструкции и небольшое количество деталей;
- значительно малая потеря при перекрытии;
- низкие первоначальные затраты;
- возможность применения для большого трубопровода по диаметру;
- низкие затраты при эксплуатации и обслуживании;
- температура транспортируемой среды от -20 до +60 градусов Цельсия.

Дисковый затвор имеет некоторые недостатки:

- необходимое использование редуктора при ручном управлении;
- при большом давлении усилие управления значительно высокое.

При транспортировке среды с высоким требованием лучшим решением считается дисковый затвор.

## **2.5. Выводы**

Трубопроводная система имеет большое распространение в России. Основным элементом системы является запорная арматура, применяемая практически 80% всех трубопроводных арматур, для очень широкого диапазона давления, температуры и диаметра трубопровода.

Арматуры характеризуют высоким коэффициентом полезного действия и низким затратам при эксплуатации и обслуживании благодаря следующим преимуществам, таким как:

- малые потери при транспортировке среды;
- простота конструкции;
- переключение с небольшим усилием.

Характеристики арматуры влияют на все технические и экономические параметры системы в дальнейшей работе. В связи с этим, выбор арматуры для проектирования играет важную роль в работе, а также в процессе внедрения системы.

Одним из современных видов запорной арматуры является задвижка. Согласно достоинствам и недостаткам задвижки, можно считать, что данный вид арматуры обладает рядом преимуществ к установке и применению для транспортировки нефти и нефтепродуктов с разными диаметрами трубопроводов.

### **3. Управление запорной арматуры электроприводом**

В настоящее время самыми распространенными видами являются трубопроводная задвижка и дисковый затвор. Основные достоинства этих видов, это возможность применения для больших диаметров трубопровода, возможность транспортировки горячих нефтепродуктов.

Запорная арматура с ручным управлением эффективно применяется на распределительных пунктах при малых и средних диаметрах трубопровода. При аварийных ситуации можно быстро найти место возникновения и выполнять специальное обслуживание. Однако это вид управления характеризуется достаточно большим количеством недостатков, таких как:

- отсутствие возможности создать автоматическую систему для дистанционного контроля и управления;
- низкая степень точности управления;
- трудное выполняемое обслуживание на тяжелых климатических условиях.

Для повышения работоспособности системы, применяется арматура с электроприводом, которая обеспечивает дистанционный контроль с помощью автоматической управляющей системы.

Запорная арматура с электроприводом обеспечивает:

- высокую скорость открытия или перекрытия потока рабочей среды;
- надежность и точность полной регулировки;
- низкую вероятность возникновения аварийной ситуации, особенно при автоматической настройке регулирования;
- долговечность трубопровода и элементов трубопроводной системы.

Электроприводом называется сложная электромеханическая система, предназначена для механического и автоматического управления трубопроводной арматурой во всех системах транспортировки рабочей среды.

Электропривод может быть обеспечивается большим количеством датчиков, реле и микросхемами, которые предназначены для расширения возможности управления трубопроводной арматурой.

В электропривод вводится несколько следующих элементов [2]:

- редукторный механизм, передающий вращение электродвигателя на арматуры;
- концевые выключатели, которые позволяют остановить вращение арматуры при достижении конечного положения;
- моментные выключатели, которые останавливают электропривод при возникновении перегрузки;
- промежуточные выключатели, срабатывающие при достижении заданных положений выходного вала;
- механический указатель положения;
- индикаторы работы электропривода и аварийного состояния;
- аналоговые потенциометры, магнитные датчики указателя положения;
- предохранители, термодатчики, механические размыкатели, обеспечивающие защиту электропривода от перегрева;
- нагреватели электропривода, обеспечивающие его бесперебойную работу в условиях пониженной температуры окружающей среды;
- блок управления, позволяющий управлять электроприводом удаленно по цифровым интерфейсам, объединять электроприводы в сеть.

По способом управления электроприводы разделяются на следующие типы:

Многооборотные приводы. Которые передают крутящий момент на арматуру за один полный оборот. В соответствии со стандартом ISO 5210 приводы способны выдерживать осевую нагрузку. Для увеличения крутящего момента предлагаются комбинации электроприводов с редукторами – коническими и цилиндрическими.

Неполноповоротные приводы. Крутящий момент действует на арматуру для перемещения арматуры на один поворот или меньше. В соответствии со стандартом ISO 5211 приводы не способны выдерживать осевую нагрузку. Неполноповоротные приводы имеют встроенные концевые упоры для точного доведения до конечных положений в ручном режиме управления.

Прямоходные приводы. Приводы имеют способность соединения с прямоходным модулем, которые предназначены для выполнения возвратно-поступательного движения. Если требуется управление через рычажную сборку, прямоходный модуль принят специальное решение при производстве.

Рычажные приводы. Приводы являются оптимальным решением в том случае, если неполноповоротный привод невозможно установить непосредственно на арматуру ввиду недостатка пространства или при необходимости отвода высоких температур и вибраций. Такая арматура может управляться только посредством рычажной сборки.

Компания «Петросервис» предлагает электроприводы, выполняющие функции открытия и закрытия привода. Они работают на напряжение сети 380В с частотой 50Гц [2].

Для применения электроприводов с запорной арматурой на станции необходимо использовать следующие средства управления:

- блок управления – устройство предназначено для управления (открыть, стоп и закрыть); для регулировки и настройки электропривода, для точной индикации положения затвора 0-100%; для дополнительной защиты двигателя по току и для сигнализации об аварийной ситуации;
- шкаф управления – зависимое устройство от модели и компонентов, которое обеспечивает: управление (открыть, стоп и закрыть); прямой пуск, плавный пуск, частотное регулирование приводов; индикацию хода, положения, сигнализацию и взрывозащита.

### 3.1. Электропривод AUMA

Электроприводы AUMA производит немецкая компания, которые используются для автоматизации задвижек или затворов в кратковременном режиме (S2-15 мин.) или повторно-кратковременном режиме (S4-25 % ПВ). Электроприводы предлагаются в общепромышленном и взрывозащищенном исполнениях. Основным элементом заводской таблички, описываемой на электроприводе, является заводская табличка привода [3].

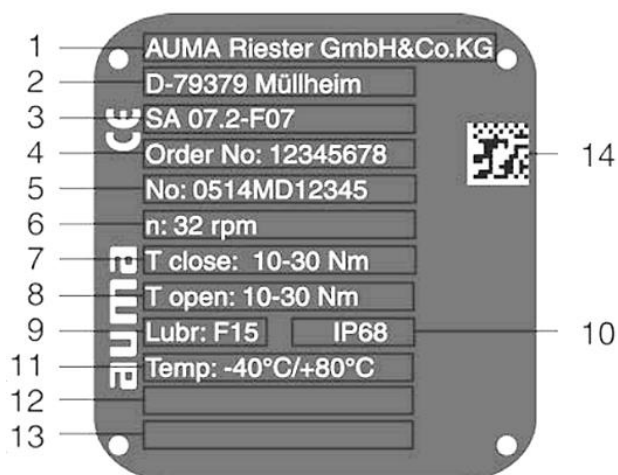
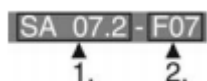


Рисунок 3.1. Пример заводской таблички привода

где 1 – производитель;

2 – адрес производителя;

3 – тип привода;



1. тип и типоразмер привода;

2. размер фланца.

4 – номер заказа;

5 – серийный номер привода;

6 – выходная скорость (от 4 до 180 об/мин);

7 – диапазон крутящего момента в направлении «заккрыть»;

8 – диапазон крутящего момента в направлении «открыть»;

9 – тип смазки;



10 – степень защиты (IP67, IP68);

11 – допустимая температура окружающей среды (от  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ );

12 – заполняется по требованию заказчика;

13 – заполняется по требованию заказчика;

14 – код DataMatrix.

Управление электропривода выполнено ручным или с помощью электронного блока AUMATIC, который несет собой следующие характеристики:

- максимальное расстояние между электроприводом и AUMATIC: 100 м;
- внешнее напряжение: 24 В DC, 200 мА;
- напряжение на выходе: 24 В DC, макс. 100 мА;
- цифровые входы: открыт - стоп - закрыт – аварийно. (24 В DC, 10 мА./115 В AC);
- аналоговые входы: задающая величина положения  $E1 = 0/4 - 20$  мА,  $20 - 4/0$  мА (Каждое промежуточное положение может лежать в любом положении арматуры между 0 % и 100 %);
- аналоговые выходы: фактическое значение положения  $E2 = 0/4 - 20$  мА;
- релейные выходы: 5 программируемых сигнальных реле стандартная закладка: положение «закрыто»; положение «открыто»; ключ-селектор «дистанц»; ошибка по крутящему моменту «закрыто»; ошибка по крутящему моменту «открыто».

При эксплуатации электропривода применяется трехфазный или однофазный двигатель постоянного или переменного тока с защитой при помощи термовыключателя.

При использовании электропривод AUMA несет собой следующие достоинства:

- возможность применения в широком диапазоне температуры среды;
- высокая выходная скорость;
- наличие модификации продуктов по специальном требовании;
- наличие решения при недостатке пространства установки, транспортировке высокотемпературной среды и вибрации;

- высокая частота включений (до 1200 раз в час).

Однако электропривод имеет несколько недостатков:

- относительно высокая цена на территории России;
- некоторые серии электроприводов питаются напряжением с частотой только 60 Гц, что не позволяет использовать, не применяя специальные преобразователи;
- возможность соединения только с электронными модулями AUMATIC;
- ограниченная способность защиты (IP67, IP68, 1ExdII BT4).

### 3.2. Электропривод ГЗ

Электропривод ГЗ, выпускается Российской компанией «ГЗ Электропривод», применяется для управления запорной промышленной трубопроводной арматурой, устанавливаемой в помещениях, под навесом и на открытом воздухе. Электропривод предназначен для работы в повторно-кратковременном режиме S2 по ГОСТ 183-74 с продолжительностью включения до 15 мин. (интервалы между включениями в 2-3 раза больше продолжительности включения), а также в повторно-кратковременном режиме (S4) [4].

Электропривод обеспечивает надежное позиционное управление любыми видами запорной арматуры и другим подобным оборудованием, с крутящим моментом от 50 до 6500 Н·м. В сочетании с дополнительным редуктором можно увеличить крутящий момент до 80000 Н·м.

Структурное обозначение электропривода описывается как:

ГЗ А. 100 Н. / 24 У1 Э ТУ 3791-001-96569271 -2006

1 2 3 4 5 6 7 8

где 1 – наименование электропривода;

2 – буквы А, Б, В, Г, Д означают тип электропривода по присоединению к арматуре по СТ ЦКБА 062-2009;

3 – номинальный крутящий момент на выходном валу, Н·м;

4 – тип исполнения: Н – общее;

5 – частота вращения выходного вала, об./мин;

6 – климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69;

7 – опция электропривода: КС – интегрированный; КСК – интегрированный с контроллером; Э – ЭБКВ;

8 – обозначение технических условий на электроприводы серии “ГЗ”.

Электроприводы рассчитаны на работу при температурах от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ . По запросу потребителя возможно изготовление электроприводов, рассчитанных на температурный диапазон от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$  (УХЛ).

Электроприводы ГЗ могут выпускаться во взрывозащищенном исполнении по стандарту 1ExdПВТ4. Электроприводы ГЗ со степенью защиты IP65 способны обеспечить полную защиту от пыли и влаги. В случае необходимости, есть возможность поставки корпусов со степенью защиты IP67, IP68.

Блок управления электроприводом БУЭП предназначен для управления многооборотными и однооборотными электроприводами серии ГЗ, установленными на запорно-регулирующей трубопроводной арматуре.

Обозначение блока управления сформировано в виде:

БУЭП-В . А – 2

1    2    3    4

где 1 – обозначение блока управления электроприводом;

2 – тип защиты блока управления, В – взрывозащищенная;

3 – тип блока управления электроприводом по функциональным возможностям;

4 – исполнение блока управления электроприводом по номинальному рабочему току.

Блок несет собой следующие характеристики:

- рабочее напряжение электродвигателя привода: трехфазное напряжение 380В переменного тока с частотой 50Гц;
- условия эксплуатации: от  $-20$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ . Относительная влажность не более 80%;

- работа в условиях неагрессивной взрывобезопасной окружающей среды по IP60 для промышленной серии продуктов;
- взрывозащищенные блоки управления электроприводом могут устанавливаться во взрывоопасных зонах класса IIВ по ГОСТ Р 51330.0-99 в помещениях, на открытом воздухе под навесом, которые предназначены для управления оборудования с маркировкой взрывозащиты 1ExdIIBT4.

Блок управления электроприводом представляет собой электронный прибор, на лицевой панели которого расположены:

- сигнальные светодиодные индикаторы;
- индикатор положения затвора арматуры с подстроечным резистором;
- кнопки для дистанционного управления электроприводом.

Блок обеспечивает способность дистанционного управления электроприводом при подключении к внешней системой с помощи протокола Modbus на интерфейсе RS-485.

Электропривод ГЗ несет следующие достоинства:

- относительно низкий первоначальный затрат;
- широкая возможность защиты (IP60, IP65, IP67, IP68, 1ExdIIBT4);
- высокий крутящий момент;
- возможность применения в широком диапазоне температуры среды;
- возможность соединения с электронными модулями серии БУЭП.

По недостатками электропривода можно перечислить:

- низкая точность показания положения по сравнению с цифровым индикатором;
- относительно низкая выходная скорость (до 24 об./мин.).

### **3.3. Электропривод ГУСАР**

Электропривод ГУСАР, выпускаемый компанией «Сибирский Машиностроитель» (ООО СИБМАШ, Россия). Серия электропривода ГУСАР обеспечивает управление неполноповоротной или полноповоротной трубопроводной арматурой (дисковые поворотные затворы, шаровые краны).

Взрывозащищенный электропривод ГУСАР эффективно применяется для транспортировки рабочей среды, характеризующей легкостью возникновения

взрыва, такой как газ, нефть и нефтепродукты. ГУСАР имеет взрывобезопасный уровень взрывозащиты и могут применяться во взрывоопасных зонах классов 1 и 2 по ГОСТ Р 51330.

Структура условного обозначения взрывозащищенных электроприводов ГУСАР [5]:

ГУСАР П. И5. 900. 1,8. Э32. УХЛ1. ТУ 3791-004-53106276-2003

1            2    3    4    5    6            7                            8

где:

1 – наименование электропривода;

2 – исполнение механического модуля (П - поворотный);

3 – исполнение присоединительного элемента электропривода к запорно-регулирующей арматуре;

4 – максимальный крутящий момент на выходном звене электропривода, Нм;

5 – максимальная скорость перемещения выходного звена электропривода, об/мин;

б – исполнение блок управления;

7 – климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150;

8 – обозначение технических условий на электропривод ГУСАР (П – поворотный (неполноповоротные)).

Соединительные элементы электропривода к запорной арматуре имеют три исполнения:

- «И5»: Диаметр редуктора – 160 мм; крутящий момент до 1300 Нм; номинальная мощность электродвигателя до 0,55 кВт; скорость перемещения выходного звена не менее 2,5 об/мин;
- «И6»: Диаметр редуктора – 272 мм; крутящий момент от 1500 до 4000 Нм; номинальная мощность электродвигателя до 0,55 кВт; скорость перемещения выходного звена не менее 1,7 об/мин;
- «И7»: Диаметр редуктора – 300 мм; крутящий момент до 10000 Нм; номинальная мощность электродвигателя до 0,55 кВт; скорость перемещения выходного звена не менее 0,65 об/мин.

Электроприводы включают в себя приводной и механический модули. Приводным модулем является электронная система управления Э32 (блок управления СОКРАТ-РЗ ТУ 3791-001-14401518-2013), показана на рисунке 3.2 [6]. Данный модуль обеспечивает выполнение следующих функций:

- при задании направления и скорости модуль решит задачу реверсивный пуск двигателя;
- местные и дистанционные управления и передачи сигналы состояния электропривода;
- в состоянии работы модуль регулирует скорость, контролирует момент и положения выходной части;
- автоматический остановить привод при возникновении аварии или заданным конечным положением;
- показывать и сохранять событий, команды и сигналов аварий в режиме работы привода.



Рисунок 3.2. Блок управления СОКРАТ-РЗ

Блок управления СОКРАТ-РЗ (Э32) является электротехническим устройством, имеющим маркировку взрывозащиты 1ExdII BT4/1ExdII CT4; степень защиты, обеспечиваемая оболочкой – IP67, IP68. Блок Э32 имеет конструкцию, характеризующую как электронной, так и электромеханической.

Механический модуль электропривода: II Gb с T4 X

- неэлектрическое оборудование группы II по ГОСТ 31441-2011;
- уровень взрывозащиты Gb по ГОСТ 31610-2012;
- тип взрывозащиты (конструкционная безопасность «с»);
- температурный класс T4 (до 135<sup>0</sup>C);
- условие эксплуатации электропривода X:
  - для смазки движущихся частей и подшипников механического модуля электропривода допускается применять только смазку типа ВНИИНП-286М;
  - подшипники, применяемые в механическом модуле, должны быть герметизированы и снабжены смазочным материалом на весь срок службы электропривода.

Электропривод ГУСАР П с блоком управления СОКРАТ-РЗ обеспечивает многофункциональную способность при контролях, управлениях трубопроводную систему и соединения с автоматической системе. С его помощи можно выполнять местное или дистанционное управление. Все события сохранены в память электропривода.

По статьи «обзор рынка электроприводов для управления запорно-регулирующей арматурой» определяются преимущества электропривода:

- возможность использовать с разным типом запорной арматуры;
- возможность соединения с 2 электронными модулями;
- относительно универсальная степень взрывозащиты 1ExdIIBT4/1ExdIICT4;
- высокая эффективность работы приводного модуля (КПД= 0,89);
- возможность работать в сложных климатических условиях, при температуре от -60<sup>0</sup> до +50<sup>0</sup>С (можно до +120<sup>0</sup>С);
- относительно низкий первоначальный затрат.

Недостаток электропривода определяет во связи с выпускной только взрывозащищенные серия ГУСАР.

Взрывозащищенный электропривод ГУСАР П. И5. 900. 1,8. Э32. УХЛ1 выбран для использования и выполнения экспериментов в лабораторных условиях по критериям:

- универсанное использование с разными видами трубопроводами арматуры;
- многофункциональное управления системы перекачки среды;
- требование взрывозащиты;
- простота конструкция по сравнению с другими продуктами ГУСАР.

### **3.4. Выводы**

Запорная арматура с электроприводом имеет способность защиты от взрыва и опасных ситуаций, а также способность подключения к автоматической системе управления.

Электропривод ГУСАР несет собой большое количество преимуществ при использования в опасных остраслях по сравнению с другими видами электроприводов. Данный вид электропривода можно применить для транспортировки не только нефти, нефтепродуктов, а также газа.

Взрывозащищенный электропривод ГУСАР П. И5. 900. 1,8. Э32. УХЛ1 характеризуется универсальностью, компактностью и выгодной по цене при первоначальных затратах, а также простотой конструкции по сравнению с другими продуктами ГУСАР.

Блок Э32 является одним из двух видов блока управления, специально спроектированного для установки с электроприводом ГУСАР. Данный блок позволяет производить несложные математические вычисления законов управления, а также способностью взрывозащиты.

#### **4. Автоматическая система**

Формирование сигналов управления при транспортировке нефти и нефтепродуктов во многих случаях оказывается сложной задачей из-за наличия случайных возмущений или помех, созданных приборами и электроприводом.

С целью устранить, выше указанные недостатки было принято решение, о разработке автоматической системы дистанционного управления. Система автоматического управления состоит из управляемого объекта и элементов управления, которые воздействуют на объект при изменении одной или нескольких управляемых переменных. Под влиянием входных сигналов или возмущения изменяются управляемые переменные.

В основе любой автоматической системы находится вычислительное оборудование и математическая модель, которая составлена под конкретные элементы и задачи управления. Вычислительное оборудование работает совместно с датчиками, которые устанавливаются на трубопроводах. Автоматическая система обеспечивает способы обновления и архивации событий о работе всех связанных систем.

Система обладает следующими преимуществами:

- высокая надежность, что обеспечивает ее многолетнюю эксплуатацию;
- подключение интерфейсов, облегчающих диагностику;
- удобство и безопасность работы клиентам;
- возможность одновременно управлять несколькими объектами управления;
- наличие программных средств стандарта OPC и SCADA, что обеспечивать способность взаимодействия с человеком.



Базовым элементом системы, применяемой во всех сферах человеческой деятельности для автоматизации технологических процессов и сигнализации, называется программируемый логический контроллер (ПЛК или контроллер).

#### **4.1. Контроллер**

В работе использован программируемый логический контроллер – промышленный контроллер, оптимизированный для выполнения логических операций в системах реального времени. Контроллер характеризуется компактностью, удобством использования и возможностью решения почти всех промышленных задач управления по записанному, в микропроцессоре, алгоритму.

Контроллеры используются не только как автономные средства локального управления технологическим установками, но и в составе систем автоматического управления целыми предприятиями.

Тенденция развития контроллеров обеспечивает следующие требования:

- уменьшение габаритов;
- расширение функциональных возможностей;
- увеличение количества поддерживаемых интерфейсов и сетей;
- появление признаков связи между ПЛК и ПК;
- использование языков программирования стандарта МЭК 61131-3;
- снижение цены.

Выбор оптимального контроллера для задач управления основывается на функциональных характеристиках ПЛК в зависимости от решаемой задачи и минимальных первоначальных затрат.

Современный промышленный контроллер содержит интерфейс и процессорный модуль, который состоит из следующих элементов [7]:

- центральное процессорное устройство (ЦПУ);
- постоянное запоминающее устройство (ПЗУ);
- оперативное запоминающее устройство (ОЗУ);
- операторы;
- функции;
- стандартные функциональные блоки;
- расширенные библиотечные компоненты.



Рисунок 4.1. Типовая архитектура ПЛК

Центральным процессорным устройством называется электронный блок либо интегральная схема, выполняющая задачи сбора и обмена данными, а также управления всех связанных устройств. Основными характеристиками ЦПУ являются разрядность, тактовая частота, производительность, энергопотребление, типы поддерживаемых портов ввода-вывода, температурный диапазон работоспособности и архитектура.

Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) используется для хранения редко изменяемой информации, задаваемой операционной системой, драйверы устройств, и исполняемый модуль программы пользователя. В качестве ПЗУ обычно используется электрическая стираемая перепрограммируемая память. Разновидностью стираемой перепрограммируемой памяти является флэш-память.

Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) используется для хранения данных, которые многократно изменяются в процессе работы контроллера (результаты промежуточных вычислений, диагностическая информация, выводимые на графики и на дисплее). В качестве ОЗУ современные микропроцессоры используют статическую и динамическую память.

В настоящее время на рынке продается много разных видов контроллеров, выпускаемых российскими и иностранными фирмами, такими как Eaton, Siemens, Mitsubishi, ABB, Schneider Electric, Овен, Элемер и другие.

## 4.2. Система SCADA

С целью дистанционного получения и управления трубопроводной системой был выбрана SCADA система TRACE MODE. Система SCADA (диспетчерское управление и сбор данных) – программный пакет, предназначенный для разработки программного обеспечения работающего в режиме реального времени. Система SCADA позволяет обеспечить сбор, обработку, отображение и архивирование информации об объекте, а также осуществить мониторинг или управление. Для установления связи с ПЛК использует драйверы ввода-вывода или OPC серверы.

SCADA-системы решают следующие задачи:

- обмен данными между объектом управления с промышленными контроллерами и платами ввода/вывода в реальном времени через драйверы;
- обработка информации в реальном времени;
- управление логическое объектов;
- автоматическое управление при помощи ПИД-контроллера;
- отображение информации на экране монитора;
- автоматические сигнализированные при аварийной ситуации;
- ведение журнала событий;
- осуществление сетевого взаимодействия между компьютерами.

Критерии оценки для выбора системы делят на три группы показателей: эксплуатационные, экономические и технические [8, 9, 10].

Эксплуатационные показатели характеризуют скорость освоения продукта и разработки прикладных систем, такие как:

- качество документации SCADA-системы;
- доступность диалога;
- качество поддержки SCADA-системы.

Экономические показатели выражаются в стоимости следующих составляющих:

- аппаратной платформы;
- средства разработки и среда исполнения;
- разработки системы и др.

Технические показатели оценивают через следующие характеристики:

- программно-аппаратные платформы, на которых реализуется SCADA-система;
- средства сетевой поддержки;
- поддерживаемые базы данных;
- встроенные командные языки;
- открытость систем и OPC-сервер.

SCADA–система содержит следующие подсистемы [11]:

- драйверы или серверы ввода-вывода;
- система реального времени;
- человеко-машинный интерфейс;
- система логического управления;
- база данных реального времени;
- система управления тревогами;
- генератор отчетов;
- внешние интерфейсы.

Для того, чтобы обеспечить сервисные свойства автоматической настройки, сигнализации, самодиагностики, программирования, безударного переключения режимов, дистанционного управления, возможностью работы в промышленной сети и другие предложено использовать ПИД-контроллер.

### 4.3. ПИД-контроллер

Пропорционально–Интегрально–Дифференциальный (ПИД) контроллер – наиболее эффективный и распространенный вид контроллера, обеспечивающий достаточно высокую точность управления различными промышленными процессами.

ПИД–контроллер вырабатывает выходной сигнал, который рассчитывается по формуле:

$$u(t) = П + И + Д = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(t)dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (4-1)$$

где  $u(t)$  – управляющее воздействие;

П – пропорциональная составляющая;

И – интегральная составляющая;

Д – дифференциальная составляющая;

$e(t)$  – текущая ошибка;

$K_p$  – пропорциональный коэффициент;

$K_i$  – интегральный коэффициент;

$K_d$  – дифференциальный коэффициент.

Пропорциональная составляющая зависит от рассогласования  $e(t)$  и отвечает за реакцию на мгновенную ошибку регулирования.

Интегральная составляющая содержит в себе накопленную ошибку регулирования, которая является дополнительным источником выходной мощности и позволяет добиться максимальной скорости достижения уставки при отсутствии перерегулирования.

Дифференциальная составляющая зависит от скорости изменения параметра, вызывающей реакцию регулятора на резкое изменение измеряемого параметра.

Для эффективной работы ПИД–контроллера необходимо подобрать значения коэффициентов  $K_p$ ,  $K_i$  и  $K_d$ . В связи с этим осуществляет регулирование с использованием преобразователя частоты, который позволяет плавно регулировать скорость вращения при постоянном времени.

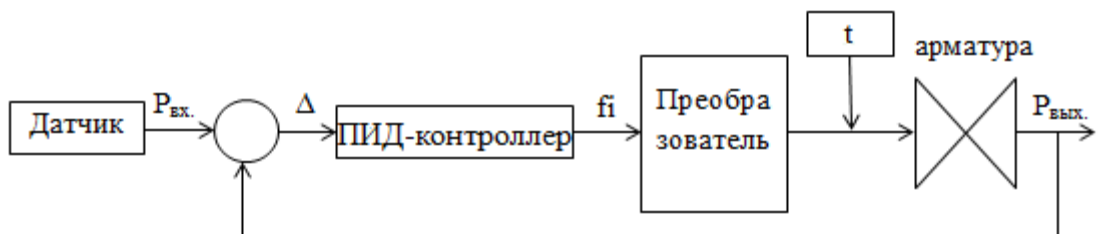


Рисунок 4.2. Принципиальная схема регулирования

На вход подаются задаваемый сигнал давления и сигнал реального давления, получаемый с датчика давления, считаемого как сигнал обратной связи. Отклонение между реальным и заданным значениями ( $\Delta$ ) преобразуется ПИД-контроллером в сигнал задания частоты для преобразователя. Под воздействием сигнала задания ( $f_i$ ) преобразователь изменяет скорость вращения арматуры при заданном времени ( $t$ ) и стремится привести отклонение между заданным и реальным значением к нулю. В результате давление в системе поддерживается равным заданному и не зависит от расхода.

В связи с алгоритмом промышленный ПИД-контроллер используются чаще всего по трем основным регуляторам: И-регулятор; ПИ-регулятор и ПИД-регулятор.

#### 4.3.1. И-регулятор

И-регулятор – это идеальное интегрирующее звено. Выходной сигнал И-регулятора  $u(t)$  пропорционален интегралу от ошибки регулирования  $e(t)$ :

$$u(t) = K_{\text{и}} \cdot \int_0^t e(t) dt \quad (4-2)$$

Данный регулятор исправит статическую ошибку, происходящую из-за неидеальности исполнительных механизмов, каналов измерения, а также инерционности объектов. Система с И-регулятором не имеет ошибки в установившемся режиме.

В процессе регулирования И-регулятор несет собой характеристики аналогично операционный усилитель (ОУ). Особенно при производстве частоты с времени регулирования намного выше единицы передаточная функция И-регулятора абсолютно совпадает с передаточной функцией ОУ [12].

При настройке системы можно получить результат, который стремится к установившемуся значению. При этом позволяет пригодность для работы измерительных приборов.

Однако интеграл изменяется очень медленно, по мере накопления ошибки регулирования, то есть данный регулятор имеет существенный недостаток – это медленная скорость приведения регулируемого параметра к заданному значению. Таким образом И-регулятор обычно используется не самостоятельно, а в составе ПИ- или ПИД-регуляторов.

#### 4.3.2. ПИ-регулятор

ПИ-регулятор – это параллельно соединенные П- и И-регуляторы с целью компенсировать недостатки 2 составных регуляторов. Выходной сигнал ПИ-регулятора  $u(t)$  зависит и от ошибки регулирования  $e(t)$ , и от интеграла от этой ошибки.

$$u(t) = K_{\text{п}} \cdot e(t) + K_{\text{и}} \cdot \int_0^t e(t) dt \quad (4-3)$$

В системе регулирования с ПИ-регулятором так же, как и в системе с И-регулятором, отсутствует статическая ошибка. ПИ-регулятор имеет нескольких существенных положительных отличия от И-регулятора:

- увеличение динамической точности регулирования;
- увеличение запаса устойчивости замкнутой системы;
- оптимизации качества регулирования;
- увеличение скорости нарастания управляемой переменной без снижения запаса устойчивости.

Однако появление пропорционального коэффициента приводит к затягиванию переходного процесса из-за компенсирующей ошибки нарастает медленнее, чем в И-регуляторе.

В настоящее время большинство инженерных систем управляются ПИ-регулятором.

### 4.3.3. ПИД-регулятор

ПИД-регулятор – это параллельно соединенные П-, И- и Д- звенья. Выходной сигнал ПИД-регулятора  $u(t)$  зависит от ошибки регулирования  $e(t)$ , от интеграла от  $e(t)$  и от производной от  $e(t)$ .

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int_0^t e(t) dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (4-4)$$

В системе регулирования с ПИД-регулятором отсутствует статическая ошибка и обладает высоким быстродействием. Данный регулятор обеспечить устойчивость и улучшить качество регулирования системы в случаях, когда это невозможно сделать с помощью ПИ-регулятора.

Применение ПИД-регулятора с автоматической настройкой позволяют следующие достоинства:

- имеет высокую разрешающую способность;
- не требует сложных вычислений;
- дает результат в рабочей точке.

Но при использовании ПИД-регулятора обладает следующими недостатками:

- не справедлив для большой задержки из-за большой ошибки при расчете коэффициента передачи;
- требует мощному оборудованию вычисления;
- требует квалифицированным персоналом.

#### **4.4. Выводы**

В зависимости от характеристики оборудования вычисления и требования к точности регулирования системы управления предложен выбор одного из трех основных видов ПИД-контроллера. В настоящее время чаще всего применяется ПИ-регулятор для решения промышленных задач по контролю, управлению и регулированию.

При отсутствии физических объектов можно исследовать характеристики и изменения исследуемых параметров с помощью математического моделирования.



**Форма задания для раздела магистерской диссертации**  
**«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»**

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА**  
**«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И**  
**РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5ГМ5Г	Нгуен Дык Тхо

<b>Институт</b>	<b>ЭНИН</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ЭКМ</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость ресурсов (НИ) в размере 423 тыс.руб.:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>материальные затраты;</li> <li>амортизация компьютерной техники;</li> <li>затрат на заработную плату для НР и И;</li> <li>отчисления во внебюджетные фонды;</li> <li>прочие затраты;</li> <li>накладные расходы;</li> <li>смета затрат на оборудования и монтажные.</li> </ul>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы и нормативы использованы в проекте:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>Нормирование расхода материалов (ГОСТ 14.322-83).</li> <li>Установление заработной платы (ст. 135 ТК РФ).</li> <li>Тарифные системы оплаты труда (ст. 143 ТК РФ).</li> </ul>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования для выполнения работы:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>Затраты на отпуск (10%).</li> <li>Районный коэффициент (К =1,3).</li> <li>Отчисления во внебюджетные фонды (30%).</li> <li>Затраты на оборудование и монтаж (30%).</li> </ul>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Анализ и оценка научно-технического уровня проекта.
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Разработка календарного графика работ, формирование бюджета проекта.

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Кузьмина Н. Г.			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5ГМ5Г	Нгуен Дык Тхо		

## **7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В настоящее время оценить перспективность открытия бизнеса продукция на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно труднее, чем потенциал разработки. Оценка потенциала разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и анализа его результатов. Данный поиск важен для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Темой выпускной квалификационной работы является проектирование системы управления электроприводом запорной арматуры. Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение затрат на систему и ресурсоэффективность проекта.

Целью раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы, отвечающего современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- планирование технико-конструкторских работ;
- определение ресурсосберегающей эффективности проекта.

### **7.1. Организация работ технического проекта**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения технических проектирований.

Для выполнения проекта составляется перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и производится распределение исполнителей по видам работ. Определение этапов и продолжительности работы технического проектирования приведено в таблице 7.1.

Таблица 7.1 Этапы технического проектирования

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Испол.	Прод. дн.
Разработка технического задания выдача его	1	Составление и утверждение технического задания и выдача технического задания	НР, И	4
Выбор объектов исследования	2	Обзор трубопроводных арматур	И	5
	3	Обзор электроприводов	И	4
	4	Проведение поэтапной проверки	НР, И	1
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проектирование автоматической системы	И	8
	6	Анализ математического моделирования системы управления и проведение расчетов	И	10
	7	Построение моделей и проведение экспериментов	И	6
	8	Проведение поэтапной проверки	НР, И	1
Оценка результатов	9	Сравнение результатов экспериментов с теоретическими расчетами	И	3
	10	Оценка расчетного результата при применении оборудования	И	5
	11	Проведение поэтапной проверки	НР, И	1
Изготовление и испытание системы	12	Разработка виртуальной системы для имитации	И	5
	13	Составление алгоритма проведения управления	И	6
	14	Проведение имитации процесса управления	И	3
	15	Проведение поэтапной проверки	НР, И	1
Разработка технической документации и проектирование	16	Разработка функциональной схемы системы	И	5
	17	Оценка эффективности реализации системы	И	7
	18	Оценка эффективности производства и применения проектируемой системы	И	8
Закончение проекта	19	Проведение итоговой проверки	НР, И	1
	20	Сдача проекта и подготовка к защите	И	8
Итого	Продолжительность исполнителей в процессе выполнения проекта		НР	9
			И	92

Трудоемкость выполнения технического проекта оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. В работе выполнены 7 основных этапов и 20 работ, описывающих последовательность процесса проектирования системы управления.

Определение структуры работ в рамках технического проектирования по рабочей группе, в состав которой входят:

- научный руководитель (НР 15Р) – доцент кафедры, который определяет тему проекта и руководит работой выпускника;

- инженер (И 10Р) – студент, который выполняет и сдает свою работу по согласованию с руководителем.

В таблице 7.2 представлен график проведения технического проекта, который показывается продолжительность работы (начало и конец), а также характеристики выполнения работ и исполнители соответствующей работы. Выполнение всего комплекса работ осуществляется в течение 5 месяцев, в каждом месяце предусматривается 21 рабочих днях.

Календарная продолжительность выполнения технического проекта составит 92 дней. В том числе:

- 9 дней – рабочая занятость научного руководителя;
- 92 день – рабочая занятость инженера.

Таблица 7.2 Календарный график выполнения научного исследования

№ работ	Исп.	Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь	
1	НР														
	И														
2	И														
3	И														
4	НР														
	И														
5	И														
6	И														
7	И														
8	НР														
	И														
9	И														
10	И														
11	НР														
	И														
12	И														
13	И														
14	И														
15	НР														
	И														
16	И														
17	И														
18	И														
19	НР														
	И														
20	И														

## 7.2. Составление сметы затрат на проектирование

Смета затрат рассчитывается для определения расходов, необходимых для осуществления всех работ по проектированию системы управления.

Смета затрат на проект описать каждую составляющую затрат и рассчитать в деньгах:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр/з}} + K_{\text{накл}}; \quad (7-1)$$

где:

- $K_{\text{мат}}$  – материальные затраты по ГОСТ 14.322-83;
- $K_{\text{ам}}$  – амортизация компьютерной техники;
- $K_{\text{з/пл}}$  – затрат на заработную плату в соответствии с ст. 135 ТК РФ;
- $K_{\text{с.о}}$  – отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- $K_{\text{пр/з}}$  – прочие затраты по статье 143 ТК РФ;
- $K_{\text{накл}}$  – накладные расходы.

### 7.2.1. Материальные затараты

Материальные затараты – это затараты на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Принимая материальных затратов в размере  $K_{\text{мат}} = 1000$  руб. На которых заплатить за концелярские товары.

### 7.2.2. Затрат на амортизацию компьютерной техники

Амортизация компьютерной техники составляется:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot Ц_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}} \quad (7-2)$$

где  $T_{\text{исп.кт}} = 92$  дней – время использования компьютерной техники;

$T_{\text{кал}} = 365$  дней – календарное время в год;

$\Pi_{\text{КТ}} = 25000$  руб. – цена компьютерной техники ;

$T_{\text{сл}} = 5$  лет – срок службы компьютерной техники.

Амортизация компьютерной техники определяется в размере:

$$K_{\text{ам}} = \frac{92}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 1260 \text{ руб.} \quad (7-3)$$

### 7.2.3. Затраты на заработную плату

Фондовая затрата на заработную плату осуществляется следующим образом:

$$\Phi ЗП = K_{\text{з/пл}} = З_{\text{И}} + З_{\text{НР}}, \quad (7-4)$$

где  $З_{\text{И}}$  – заработная плата для инженера;

$З_{\text{НР}}$  – заработная плата для научного руководителя.

Месячная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{мес}} = З_{\text{мо}} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (7-5)$$

где  $З_{\text{мо}}$  – месячный оклад;

$K_1 = 1,1$  – коэффициент, учитывающий отпуск (10%);

$K_2 = 1,3$  – районный коэффициент для томской области (30%).

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов. Заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$З = \frac{З_{\text{мес}}}{21} \cdot n_p, \quad (7-6)$$

где  $З_{\text{мес}}$  – месячная плата, руб.;

21 – число рабочих дней в месяце;

$n_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

Расчет затрат на заработную плату приведен в таблице 7.3.

Таблица 7.3 Затрат на заработную плату

№	Исполнители	$З_{\text{мо}}$ , руб.	$З_{\text{мес}}$ , руб.	Прод. $n_p$ , дн.	$З$ , руб.
1	Научный руководитель	26300,0	37600,0	9	16100,0
2	Инженер	17000,0	24300,0	92	106500,0
Итого, $K_{з/пл}$ , руб.		122600,0			

#### 7.2.4. Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$K_{c.o} = k_{\text{внеб}} \cdot K_{з/пл}, \quad (7-7)$$

где  $k_{\text{внеб}} = 0,3$  – коэффициент отчислений на плату во внебюджетные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$K_{c.o} = 122600 \cdot 0,3 = 36780 \text{ руб.} \quad (7-8)$$

#### 7.2.5. Прочие затраты

Прочие затраты, принимаются в размере:

$$K_{\text{пр/з}} = k_{\text{пр}} \cdot (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{з/пл} + K_{c.o}) \quad (7-9)$$

где  $k_{\text{пр}} = 0,1$  – коэффициент на плату за прочие затрат.

Прочие затраты, принимаются в размере:

$$K_{\text{пр/з}} = 0,1 \cdot (1000 + 1260 + 122600 + 36780) = 16160 \text{ руб.} \quad (7-10)$$

#### 7.2.6. Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot K_{з/пл}, \quad (7-11)$$

где  $k_{\text{нр}} = 2$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы [26].

Накладные расходы определяется в размере:

$$K_{\text{накл}} = 2 \cdot 122600 = 245200 \text{ руб.} \quad (7-12)$$



Все рассчитанные выше статьи затрат на проект приведены в таблице 7.4.

Таблица 7.4 Расчет сметы затрат

№	Элементы затрат	Сумма, руб.	Структура затрат, %
1	Материальные затраты	1000	0,24
2	Амортизация компьютерной техники	1260	0,30
3	Затрат на заработную плату	122600	28,98
4	Отчисления во внебюджетные фонды	36780	8,70
5	Прочие затраты	16160	3,82
6	Накладные расходы	245200	57,96
Итого, К <sub>пр</sub> , руб.		423000	100,0

По данным таблицы строим круговую диаграмму – смета затрат на проектирование системы управления электроприводом запорной арматуры. Круговая диаграмма представлена на рисунке 7.1:



Рисунок 7.1. Смета затрат на проектирование системы

Исходя из представленной выше рисунки, можно сделать вывод, что общие затраты на проектирование системы составят 423 тысяч рублей, из которых 57,96% составят накладные расходы ресурсов и 28,98% – затраты, связанные с оплатой труда исполнителей проекта.

### 7.3. Смета затрат на оборудование и монтажную работу

Расчет затрат на оборудование осуществляется по следующей формуле:

$$K_{\text{обор}} = \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i} \quad (7-13)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов;

$N_{\text{расх}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.).

Определение затрат на оборудование приведено в таблице 7.5.

Таблица 7.5 Затраты на оборудование.

№	Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Стоимость материалов, руб.
1	Источник ресурсов	Шт.	1	9000,0	9000,0
2	Трубопровод	Шт.	2	250,0	500,0
3	Запорная арматура	Шт.	1	5000,0	5000,0
4	Электропривод	Шт.	1	35000,0	35000,0
5	ПЛК	Шт.	1	16000,0	16000,0
6	Стенд управления	Шт.	1	50000,0	50000,0
7	Болт с гайкой для крепления электропривода	Шт.	8	150,0	1200,0
8	Набор инструмента Bosch	Шт.	1	10000,0	10000,0
9	Компьютер	Шт.	1	25000,0	25000,0
Итого $K_{\text{обор}}$ , руб.					151700,0

Смета затрат на оборудования и монтажные работы определяется по формуле:

$$K_{\text{ом}} = k_{\text{ом}} \cdot K_{\text{обор}} = 0,2 \cdot 151,7 = 30,4 \text{ тыс. руб.} \quad (7-$$

14)

где  $k_{\text{ом}} = 0,2$  – коэффициент затрат на оборудования и монтажные работы.

В результате выполнения поставленных в данном разделе задач, можно сделать следующие выводы:

- при планировании выполнения работ был разработан график занятости для двух исполнителей, составлена ленточная диаграмма Ганта, позволяющая оптимально скоординировать работу исполнителей;
- составления сметы затрат на проектирование, а также на оборудования и монтажные работы позволили оценить первоначальную сумму затрат на реализацию проекта и обслуживание;

### **Список публикаций**

Статья «проектирование системы управления электроприводом запорной арматуры» на IV российской молодежной научной школы-конференции «Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи».